

Vorrichtung zur Feststellung von Belastungen an Faserverbund-Bauteilen

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Feststellung von Belastungen an Faserverbund-Bauteilen gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie deren Herstellungsverfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 9 und ein Aufnehmerelement für die Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 11.

Im Fahr- und Flugzeugbau werden immer mehr Bauteile aus Faserverbundwerkstoffen verwendet. Diese Faserverbundwerkstoffe bestehen vorzugsweise aus Glas-, Kohle- oder Aramidfasern, die aus Faserschichten aufgebaut und durch polymere Werkstoffe miteinander verbunden sind. Dabei werden die Bauteile im allgemeinen durch Laminieren der kunstharzimprägnierten Faserschichten unter Druck und Wärme in einer Preßform hergestellt. Diese Verbundwerkstoffe sind meist leichter als vergleichbare Metallstrukturteile und besitzen eine hohe Steifig- und Festigkeit und werden deshalb vorzugsweise im Flugzeugbau eingesetzt.

Für derartige Strukturen ist die genaue Dokumentation der Betriebsbelastungen von hohen Interesse, um die Restlebensdauer der Struktur möglichst wirklichkeitsnah nachweisen zu können. Durch diese Vorgehensweise können die zulässigen Betriebszeiten für jede Struktur wirtschaftlich optimal ausgenutzt werden. Dazu ist es vorrangig notwendig die Häufigkeit und die Höhe der Strukturverformungen aufzuzeichnen und zu dokumentieren. Diese werden zu Lastkollektiven zusammengefasst und mit der ermittelten Lebensdauer des Werkstoffs korreliert. Damit

können zum einen die Wartungs- und Serviceintervalle und zum anderen die Restlebensdauer an den tatsächlich im Betrieb aufgetretenen Bedingungen angepasst und so die Struktur wirtschaftlich optimal betrieben werden.

5

Außerdem kann es bei Leichtbaustrukturen infolge von hohen Belastungen oder durch zu hohe Fertigungstoleranzen, wie Lunker oder Faseranteile, zu Schäden, wie Rissen oder Delaminationen, im Material kommen. Diese Schäden können die mechanische Steifigkeit und die Festigkeit der Bauteile erheblich schwächen. Insbesondere bei Flugzeugen sind derartige Bauteile während des Betriebs auch der Gefahr von Schlagschäden durch Vögel und Eisstücken ausgesetzt. Diese Belastungen können zu vorgenannten Schäden innerhalb der Verbundstoffe führen, die von außen nicht sichtbar sind und eine Sicherheitsgefährdung darstellen. Um derartige Schäden feststellen zu können, ist es bekannt, diese bei den regelmäßig stattfindenden Wartungsarbeiten durch zerstörungsfreie Prüfmethoden wie Röntgen- oder Ultraschalltests zu erkennen. Allerdings besteht dabei die Gefahr, daß bis zur nächsten Wartungsuntersuchung durch Schadenswachstum infolge von hohen Schwingbelastungen eine deutliche Herabsetzung der Betriebsfestigkeit eintritt, das es in jedem Fall zu vermeiden gilt. Es gibt deshalb eine Reihe von Möglichkeiten, derartige Gefahren insbesondere an Flugzeugbauteilen sofort zu erfassen, um die Schäden so früh wie möglich beheben zu können.

Häufig ist es aber auch vor einem Einsatz im Flugzeugbau und dergleichen erforderlich, derartige Bauteile oder andere Verbundwerkstoffbauteile zu untersuchen, um die Lebensdauer zu ermitteln und konstruktiv gefahrgeneigte Schäden zu vermeiden. Dabei ist es nötig, die zu untersuchenden Bauteile mit vorgegebenen Belastungen zu beaufschlagen, um einem Nachweis der Lebensdauer zu erbringen und schadensgeneigte Dehnungen an den Bauteilen zu ermitteln und eine Schadensgefahr frühzeitig zu

erkennen. Dabei unterscheidet sich das Verfahren zur Überwachung und zur Untersuchung hauptsächlich durch die Auswertung und in der Erzielung der Meßergebnisse in Form einer Belastungsanalyse.

5

Aus der DE 40 25 564 C1 ist eine Vorrichtung zur Feststellung von Schlagbeschädigungen an Faserverbundwerkstoffbauteilen bekannt. Dazu werden auf einer Oberflächenseite der meist nur wenige Millimeter dicken Karosseriebauteile eine Vielzahl verteilt angeordneter piezoelektrischer Folienstücke befestigt und über eine elektrische Verbindung an eine elektronische Überwachungseinrichtung geführt. Bei einer starken Druckeinwirkung durch eine Schlagbeanspruchung, die zu einer Delamination führen kann, tritt dann in den in der Nähe angeordneten Piezoaufnehmerelementen eine kapazitive Ladungsänderung ein, die dem Schlagdruck im wesentlichen proportional ist. Diese Ladungsänderung wird dann in einer Überwachungseinrichtung erfaßt und ist entsprechend dem schadensrelevanten Aufschlagdruck und -ort anzeigbar, um sofort eine gezielte Schadensuntersuchung einzuleiten. Mit einer derartigen Überwachungsvorrichtung sind aber nur übermäßige Schlagbeanspruchungen feststellbar, die zu einer Delaminierung führen können. Eine genaue Dokumentation der Betriebslasten zum Nachweis der Restlebensdauer, sowie Schäden an den Verbundwerkstoffbauteilen, die durch andere nicht druckabhängige überhöhte Dehnungsbelastungen entstehen, sind mit dieser Überwachungsvorrichtung nicht feststellbar. Insbesondere können mit einer derartigen Überwachungsvorrichtung zu Untersuchungszwecken nur Schlagbeanspruchungen an vorgegebenen Konstruktionsteilen analysiert werden.

Aus der DE 35 20 664 A1 ist es bekannt, auf einem Faserverbundwerkstoff ein optisches Reflektionsbeugungsgitter anzu bringen. Zur Überwachung der Flächendehnung kann das Reflektionsgitter mit einem Laserlichtstrahl beleuchtet und deren Ab-

strahlungsintensität in bestimmter Reflektionsrichtung erfaßt werden. Ändert sich die Oberfläche des Werkstoffs durch eine Dehnung oder Stauchung, so ändern sich auch die Beugungswinkel und damit auch die Abstrahlungsintensität in den erfassten

5 Richtungen. Eine derartige Strahlungsintensität wird dann durch optoelektronische Positionsdetektoren gemessen und kann als Wert der Oberflächendehnung angezeigt werden. Eine derartige Überwachung der Werkstoffoberflächen ist aber nur dort möglich, wo diese Oberfläche mit Laserlicht bestrahlbar und
10 deren Abstrahlintensität in einem gewissen Abstand zur Oberfläche erfassbar ist. Insbesondere wenn die Oberflächen noch mit anderen Schutz- oder Isolationsschichten versehen sind, die der Dehnung nicht folgen, ist eine derartige Überwachung oder eine Dehnungsuntersuchung nicht durchführbar.

15 Die Erfassung einer Oberflächendehnung mit Dehnungsmeßstreifen an einer Drehwelle aus einem Faserverbundwerkstoff ist aus der DE 40 21 914 C2 bekannt. Diese Dehnungsmessung erfolgt zur Drehmomentermittlung mittels einer Prüfmaschine, wobei die
20 Dehnungsmeßstreifen auf der Oberfläche eines Faserverbundrohres aufgeklebt sind und deren Dehnungserfassung zur Berechnung des Drehmoments in dem Torsionskörper dienen. Dazu werden offensichtlich handelsübliche Dehnungsmeßstreifen eingesetzt, die aber für schadensgeneigte Dehnungsmessungen an Faserver-
25 bundwerkstoffoberflächen nicht geeignet sind, da handelsübli- che Meßgitter derartigen Dehnungsbereichen nicht standhalten. Außerdem ist nicht bekannt, dass die Bestimmung des Drehmo- ments zum Nachweis der Restlebensdauer des Bauteils herangezo- gen wird.

30 Deshalb müßten derartige handelsübliche Dehnungsmeßstreifen nach jedem Untersuchungsversuch oder jeder Belastung mit schadengeneigten Oberflächendehnungen erneuert werden, was insbesondere bei Vielstellenmessungen einen erheblichen kostenin-
35 tensiven Aufwand erfordert. Insbesondere könnten bei Werk-

stoffanalysemessungen dann im oberen schadensgeneigten Bereich auch keine Messwerte mehr ausgewertet werden, so dass damit auch nur ein unzureichendes Analyseergebnis erreichbar ist. Es ist zwar denkbar, für derartige Oberflächenspannungsmessungen 5 spezielle Dehnungsmeßstreifen aus Drahtmeßgittern herzustellen, die auch größeren Dehnungsbereichen an Verbundfaseroberflächen standhalten, die aber bei Vielstellenmessungen zur Bauteilanalyse oder zur Überwachung großflächiger Flugzeugteile unwirtschaftlich wären.

10

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Messung von Materialspannungen an Faserverbundwerkstoffen sowie dazu geeignete kostengünstige Aufnehmerbau-elemente zu schaffen, die insbesondere zu Vielstellenmessungen 15 oder zur großflächigen Überwachung derartiger Bauteile geeignet sind.

Diese Aufgabe wird durch die in Patentanspruch 1, 11 und 13 an 20 gegebene Erfindung gelöst. Weiterbildungen und vorteilhafte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Aus der EP 0 667 514 B1 sind zwar Dehnungsmeßstreifen und Verfahren zu ihrer Herstellung vorbekannt. Diese bestehen im 25 Grunde aus einem handelsüblichen fotolithografisch erzeugten Meßgitter, das auf einer Trägerfolie aufgedampft ist und zusätzlich mit einer Schutzschicht abgedeckt wird. Zum Anschluß verfügt dieses Meßgitter über flache Anlötfächen, die den Anfang und das Ende des Meßgitters darstellen. Zur Verdrahtung 30 werden darauf Anschlußdrähte angelötet und zur Verschaltung den vorgesehenen Anschlußteilen zugeführt. Ein derartiger Dehnungsmeßstreifen kann im Grunde nur auf der Oberfläche eines Dehnungskörpers appliziert werden, da ansonsten eine nachträgliche Verdrahtung nicht mehr möglich ist. Auch eine vorherige 35 Verdrahtung wäre unrealistisch, da eine wirtschaftliche Hand-

habung einer Vielzahl von Anschlußdrähten bei den bekannten Herstellungsverfahren von Verbundwerkstoffen kaum möglich ist.

Die Erfindung hat den Vorteil, daß durch die Integration der

5 Dehnungsmeßstreifen nahe der neutralen Faser der Verbundwerkstoffe sehr flache, nahezu handelsübliche Folienmeßgitter einsetzbar sind, die auch bei hohen Oberflächenspannungen der Verbundwerkstoffe durch die Materialbelastungen nicht mit zerstört werden. Dadurch sind auch kostengünstige Vielstellenmessungen an Verbundwerkstoffen möglich, die sowohl zur Analyse

10 der Werkstoffbauteile als auch zum Lastmonitoring und zur dauerhaften Überwachung großflächiger Bauteile vorzugsweise von Flugzeugkarosseriebauteilen einsetzbar sind.

15 Die Erfindung hat gleichzeitig den Vorteil, dass durch die Integration der Dehnungsmeßstreifen diese sogleich werksseitig bei der Herstellung der Verbundwerkstoffbauteile eingesetzt werden können. Dabei sind die Aufnehmerelemente auch gleichzeitig gegen äußere Beschädigungen während der Bauteilmontage,

20 Wartung und im Betrieb geschützt. Durch die flachen Folienmeßgitter der Dehnungsaufnehmer können diese platzsparend zwischen den einzelnen Verbundschichten eingefügt werden, wodurch vorteilhafterweise die Matrixstruktur der Bauteile im Grunde nicht geschwächt wird und zusätzlich eine kraftschlüssige Verbindung zwischen den Aufnehmerelementen und den dehnungsrelevanten Verbundwerkstoffen erreichbar ist. Da eine

25 derartige Verbindung auch beidseitig erfolgt, treten im Messbetrieb nur geringe Hysteresewirkungen ein, so dass hohe Messgenauigkeiten erzielbar sind.

30 Die erfindungsgemäßen Aufnehmerelemente haben den Vorteil, daß mit handelsüblichen Folienmeßgittern nahezu alle Belastungsarten an Faserverbundwerkstoffen während der Betriebszeit kostengünstig feststellbar sind. Durch die vorgesehenen An-

35 schlußstifte wird gleichzeitig eine vorteilhafte Integrations-

möglichkeit erreicht, durch die eine nachträgliche Verdrahtung über Steckverbindungen ermöglicht wird. Insbesondere gestattet die erfindungsgemäße Ausbildung mit den vorgesehenen An-
5 schlussstiften einen hohen Automatisierungsgrad bei der inte-
grierten Verbundwerkstoffherstellung,, da auf herauszuführende Anschlussdrähte fertigungstechnisch keine Rücksicht genommen werden muß und trotzdem eine nachträgliche rasche Anschlußmög-
lichkeit vorhanden ist.

10 Die Erfindung wird anhand eines Ausführungsbeispiels, das in der Zeichnung dargestellt ist, näher erläutert. Es zeigen:

15 Fig. 1: eine Vorrichtung zur Feststellung von Dehnungen an einem Faserverbundwerkstoffbauteil;

Fig. 2: einen Dehnungsmeßstreifen zur Integration in ein Faserverbundwerkstoffteil;

Fig. 3: eine Seitenansicht eines Dehnungsmeßstreifens zur Integration in ein Faserverbundwerkstoffteil mit Vergrößerungsausschnitt eines Anschlussstiftes;

20 Fig. 4: ein Dehnungsmeßstreifen mit festem Anschlußstempel in zwei Formhälften;

Fig. 5: ein Integrationsvorgang eines Dehnungsmeßstreifens in ein Faserverbundwerkstoffteil innerhalb einer Werkstückform, und

25 Fig. 6: ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Vorrichtung mit mehreren integrierten Meßstellen.

In Fig. 1 der Zeichnung ist ausschnittsweise eine Vorrichtung zur Feststellung einer Dehnung bzw. zur Überwachung und zum 30 Lastmonitoring an einem Faserverbundwerkstoffbauteil 1 mit in den Faserschichten 2 integrierten Foliendehnungsmeßstreifen 3 mit einer angeschlossenen Auswertevorrichtung 4 dargestellt.

Das Faserverbundwerkstoffbauteil 1 ist nur ausschnittsweise aus einem aus lediglich zwei Schichten 2 bestehenden Faserverbundwerkstoff dargestellt, zwischen denen der Dehnungsmeßstreifen 3 angeordnet ist. Derartige Faserverbundwerkstoffe 1 bestehen in der Regel aus mehreren Schichten, vorzugsweise aus Glas-, Kohle- oder Aramidfasergelegen. Diese sind meist übereinander gelegt und mittels eines polymeren Werkstoffs durchtränkt und werden dadurch fest miteinander verbunden. Je nach gewünschten Festigkeitsanforderungen werden Faserschichten übereinander gelegt und in Kraft- und Spannungsrichtung orientiert.

Derartige Faserverbundwerkstoffbauteile sind meist als dünne Formkörper oder -platten in Dicken von 1 bis 50 mm mit Rippenverstärkung oder in Sandwichbauweise in komplexen Formgebungen ausbildbar. Diese werden vorzugsweise in der Flug- und Fahrzeugindustrie als leichte, formstabile Strukturauteile verwendet, die weitgehend alterungsunabhängig und korrosionsbeständig sind und alternativ zu gebräuchlichen metallischen Werkstoffen eingesetzt werden. Für derartige Bauteile ist die Aufzeichnung der Betriebslasten von hohem Interesse, um die Lebensdauer der Struktur möglichst wirklichkeitsnah nachweisen zu können. Durch diese Vorgehensweise können die zulässigen Betriebszeiten für jede Struktur wirtschaftlich optimal ausgenutzt werden. Dazu werden vorrangig die Häufigkeit und die Höhe der Strukturverformungen durch die Auswertevorrichtung 4 aufgezeichnet und dokumentiert.

Außerdem kann die Vorrichtung genutzt werden, um bei derartigen Bauteilen frühzeitig Schäden festzustellen, die nach außen nicht erkennbar sind und ein Gefährdungspotential darstellen. Dabei können im Inneren der Verbundwerkstoffe Faserbrüche, ein Matrixversagen, eine Delamination oder Debondingschäden auftreten, die alle durch ihr Dehnungsverhalten feststellbar sind. Allerdings müssen vor Einsatz dieser Verbundwerkstoffe

häufig auch Lebensdauerversuche und Festigkeitsanalysen durchgeführt werden, bei denen die Bauteile so gezielt belastet werden, daß Ermüdungsbrüche und auch schadensrelevante Dehnungen auftreten, um die zulässigen Einsatzzwecke feststellen zu können. Bei derartigen Bauteilüberwachungen oder Untersuchungen treten aber Oberflächendehnungen auf, die mit herkömmlichen Foliendehnungsmeßstreifen nicht durchführbar sind, da bei diesen hohen Dehnungen die Dehnungsfähigkeit herkömmlicher Meßgitter überschritten wird.

10

Deshalb geht die Erfindung von der Erkenntnis aus, die Folienmeßgitter weitgehend in der sogenannten neutralen Faser, etwa in der Mitte der Werkstoffdicke in den Verbundwerkstoff 1 zu integrieren an der die dehnungsbedingten Biegespannungen insbesondere bei schadensgeneigten Belastungen am geringsten sind. Weiterhin ist bei dieser Integration eine beidseitige Verbindung der Dehnungsmeßstreifen 3 mit dem Verbundwerkstoff 1 möglich, die insbesondere die Hysteresewirkung minimiert, so daß damit sehr genaue Messungen, Betriebslastenermittlung und Überwachungen durchgeführt werden können. Dazu werden bei der Herstellung der Verbundwerkstoffe 1 insbesondere zur Überwachung an großflächigen Flugzeugbauteilen eine Vielzahl derartiger Dehnungsmeßstreifen 3 schon werksseitig integriert, so dass in vorgegebenen Abständen die Dehnungsmeßstreifen 3 so plaziert sind, daß nahezu alle Schadensarten frühzeitig feststellbar sind. Dadurch kann die Gefahr von Flugzeugabstürzen erheblich verringert werden. Bei der Überwachung oder Untersuchung derartiger Bauteile können die Abstände der einzusetzenden Dehnungsmeßstreifen 3 je nach Belastungsrelevanz der Bauteile unterschiedlich sein und nach empirischen Untersuchungen oder Belastungsberechnungen optimal verteilt werden.

Eine derartige Überwachungsvorrichtung ist in Fig. 1 der Zeichnung schematisch und ausschnittsweise dargestellt, bei der alle am Bauteil 1 angeordneten Dehnungsmeßstreifen 3 an

eine elektronische Auswertevorrichtung 4 zur Überwachung und zum Lastmonitoring angeschlossen sind. Die gleiche Anordnung ergibt sich im Grunde auch bei einer Untersuchungsvorrichtung, bei der die Bauteile 1 bis zu einer schadensgeneigten Belastung beaufschlagt werden, um die Belastungsgrenzen bzw. die schadensgeneigten Konstruktionsvoraussetzungen zu analysieren. Beide Vorrichtungen unterscheiden sich im Grunde lediglich hinsichtlich ihrer Auswertung, wobei bei der Untersuchungsvorrichtung eine elektronische Auswertevorrichtung vorgesehen ist, die insbesondere die vorgegebenen Belastungen bei der festgestellten Dehnung berücksichtigt, während die Lastmonitoring- und Überwachungsvorrichtung lediglich aus den festgestellten Dehnungswerten auf die Lebensdauer bzw. auf einen Schaden oder eine schadensgeneigte Belastung schließt.

Bei der dargestellten Überwachungsvorrichtung werden deshalb in der elektronischen Auswertevorrichtung 4 vorzugsweise Dehnungsänderungen erfasst und nach Art, Ort, Häufigkeit und Höhe angezeigt oder als Schädigungsgefahr signalisiert. Dabei besteht der in Fig. 1 der Zeichnung dargestellte Dehnungsmeßstreifen 3 im wesentlichen aus einem Meßgitter 5, das auf einer Trägerschicht 6 aufgebracht ist, wie dies im einzelnen in Fig. 2 der Zeichnung näher dargestellt wird. Das Trägermaterial 6 ist elektrisch isolierend und temperaturbeständig, wobei vorzugsweise ein polymerer Werkstoff wie Polyimid verwendet wird. Die äußere Oberfläche des Trägermaterials 6 wird zur Verbesserung der Adhäsion bei der späteren Strukturintegration gestrahlt und aktiviert. Das Meßgitter 5 ist beidseitig mit dem Trägermaterial 6 versehen, also auch oberseitig mit einer Trägerschicht 7 abgedeckt.

Das Meßgitter 5 ist mit zwei Anschlußstiften 8, die senkrecht zum Meßgitter 5 angeordnet sind, elektrisch leitend verbunden. Dazu sind die Anschlußstifte 8 vorzugsweise mit dem Meßgitter 5 über einen Kontaktfuß 9 verlötet. Die Anschlußstifte 8 haben

dazu am Ende einen breiter ausgeführten Fußbereich und vorzugsweise eine Höhe von ca. 5 bis 20 mm. Die Anschlußstifte 8 sind über eine Zugentlastung 10 mit dem Meßgitter 5 verbunden. Die Zugentlastung 10 stellt einen Bereich dar, bei dem die 5 Leiterbahn als Schleife ausgeführt ist, so daß sich bei einer Dehnung des Dehnungsmeßstreifens 3 die Querschnittsfläche der Leiterbahn und damit ihr elektrischer Widerstand nicht ändert.

Aus Fig. 3 der Zeichnung ist der aus einem Meßgitter 5 und 10 zwei Trägerschichten 6 bestehende spezielle Dehnungsmeßstreifen 3 in Seitenansicht dargestellt, wobei insbesondere die Ausbildung der Kontaktstifte 8 in einer seitlichen Darstellung vergrößert abgebildet ist. Daraus ist ersichtlich, daß die Kontaktstifte 8 bei ihrer Herstellung mit einer isolierenden 15 Schutzschicht 20 versehen sind, um bei elektrisch leitenden Verbundschichtwerkstoffen 1 wie z. B. Kohlefasern einen messwertverfälschenden Stromfluss zu verhindern. Diese Isolierschicht 20 ist vorzugsweise aus einem polymeren temperaturbeständigen Material. In einer besonderen Ausbildung der Erfindung können die Ausführungsformen der Dehnungsmeßstreifen 3 als Aufnehmerelemente auch als Rosetten hergestellt werden. Zudem kann diese Ausführung der Dehnungsmeßstreifen 3 auch für andere Aufnehmerelemente verwendet werden, die in Faserverbundwerkstoffen 1, wie Piezofasermodule, integrierbar sind.

25 Zur Kontaktierung mit einem Anschlußstempel 11 wird diese Isolierschicht entfernt oder durch vorgesehene Klemmkanten des Anschlußstempels 11 beim Aufstecken abgekratzt, um ihn über eine nachträglich herzustellende Kabelverbindung 12 an die 30 elektronische Auswertevorrichtung 4 heranzuführen. In der Auswertevorrichtung 4 werden die einzelnen Dehnungsmeßstreifen 3 zunächst zu einer Wheatstone'schen Brücke verschaltet, um die erfaßten Dehnungen auswerten zu können. Ebenso werden auch die übrigen nicht dargestellten Dehnungsmeßstreifen in den anderen 35 Faserverbundwerkstoffbereichen an die elektronische Auswerte-

4 bzw. Überwachungsvorrichtung geführt. Dabei können bei der Überwachung in einem Flugzeug auch bis zu einige hundert derartiger Aufnehmerelemente 3 an die Überwachungsvorrichtung 4 geschaltet sein, durch die während des Flugbetriebs sowohl die 5 Belastungsgrößen als auch die Überschreitung vorgegebener Belastungsgrenzen ortszugehörig anzeig- oder signalisierbar ist. Derartige Vorrichtungen können aber auch zur Spannungsanalyse bei vorgegebenen Belastungsverläufen eingesetzt werden. Bei 10 großflächigen Flugzeugbauteilen ist es bei der Spannungsanalyse teilweise nötig, mehrere tausend derartige Dehnungsmeßstreifen 3 als Aufnehmerelemente in den zu prüfenden Bauteilen vorzusehen, um ein genaues Belastungsverhalten auswerten zu können. Dazu ist insbesondere eine nachträgliche lötfreie Kontaktierungsmöglichkeit über aufsteckbare Anschlußstempel 11 15 und eine werksseitige Integration in die Verbundwerkstoffteile 1 von Vorteil.

Werksseitig sind aber auch schon feste Kontaktstempel 21 an den Kontaktstiften anbringbar, wie dies bei der Ausführung 20 nach Fig. 4 der Zeichnung dargestellt ist. Dabei wird bei der Herstellung des Verbundwerkstoffs 1 in eine der beiden Formhälften 13 eine Aussparung 14 vorgesehen, in die der Kontaktstempel 21 einsetzbar ist. Bei dem nachfolgenden Preßvorgang zur Herstellung des Verbundwerkstoffteils 1 wird nun der 25 feste Anschlußstempel 21 auf den jeweiligen Kontaktstift 8 aufgepresst und stellt somit zu diesem eine feste elektrische Verbindung her. Dieser feste Anschlußstempel 21 kann nachträglich über Steckkontakte mit der Auswertevorrichtung 4 elektrisch verbunden werden.

30 Ein weiteres Herstellungsverfahren zur Integration der Dehnungsmeßstreifen 3 als Aufnehmerelemente ist in Fig. 5 der Zeichnung dargestellt. Dazu wird ein bekanntes Druck- oder Vakuumverfahren zur Herstellung der Verbundwerkstoffbauteile 1 35 verwendet. Die Faserschichten 2 werden dabei nacheinander in

eine vorgegebene Form 15 gelegt und dazwischen die Aufnehmer-
elemente 3 plaziert oder vorher bereits mit der jeweiligen Fa-
serschicht 2 verbunden. Dabei spielt es keine Rolle, ob das
Fasermaterial 2 trocken ist, oder bereits mit Harz imprägniert
5 wurde. Der Dehnungsmeßstreifen 3 ist in das Fasermaterial 2 so
einzulegen, daß die Anschlußstifte 8 auf einer Seite aus dem
Fasermaterial 2 herausragen. Ein Stempel 22 aus einem weichen,
porösen Material wie vorzugsweise Schaumstoff, wird unter
leichtem Druck über die Anschlußstifte 8 gedrückt. Dadurch
10 schützt der Stempel 22 während der Herstellung des Faserver-
bund-Bauteils 1 die Anschlußstifte 8 und fixiert dadurch auch
gleichzeitig die Dehnungsmeßstreifen 3. Nach dem Herstellungs-
vorgang kann der Stempel 22 entfernt werden. Neben dem Stempel
22 können die üblichen Hilfswerkstoffe zur Herstellung von Fa-
15 serverbundbauteilen 1 zur Anwendung kommen, wie die vorgesehe-
ne Abreißfolie 16 sowie das Sauggewebe 17 mit der Vakuumfolie
18.

Fig. 6 zeigt eine weitere bevorzugte Ausführungsform der Er-
20 findung mit mehreren integrierten Dehnungsmeßstreifen 3. Drei
Dehnungsmeßstreifen 3 mit Meßgittern 5 sind an verschiedenen
Stellen der Struktur aus Faserverbundwerkstoff 1 in unter-
schiedlichen Schichten integriert. Die Figur 6 zeigt den Quer-
schnitt durch die Struktur, die aus einer Deckhaut und einer
25 nach innen angeordneten Versteifungsrippe besteht. Zur Identifi-
fikation der Meßstellen werden die Kontaktstifte 8 genutzt, um
an der Innenseite der Struktur eine elektrische Einheit 28 zu
befestigen, mit deren Hilfe die Auswertevorrichtung 4 die Meß-
stellen identifizieren kann. Die Auswertevorrichtung 4 besteht
30 aus einem abgeschirmten Gehäuse 24 und einer Stromquelle 25.
Die Meßsignale werden mit einem elektrischen Modul verstärkt
26 und einem Datenprozessor 22 zugeführt, der den aktuellen
Meßwert verarbeitet und in der Speichereinheit 27 ablegt. Zu-
dem ist die Auswertevorrichtung 4 mit einem internen Timer 23
35 ausgerüstet, so dass die Höhe und die Häufigkeit von Dehnungs-

zuständen in der Struktur aufgezeichnet werden können. Zudem kann der aktuelle Meßwert mit Referenzsignalen verglichen werden und so das Überschreiten von Grenzwerten erkannt werden. Die abgespeicherten Daten können z.B. beim Service ausgelesen werden und die Daten zum Nachweis der Restlebensdauer der Struktur ausgewertet werden.

5

5

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Feststellung von Belastungen an Faserverbund-Bauteilen (1), insbesondere von Fahr- und Flugzeugteilen, wobei die Bauteile (1) mit einer vorgebbaren Anzahl von Aufnehmerelementen (3) zur Feststellung von Dehnungen versehen ist, die an eine Auswertevorrichtung (4) angeschlossen sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnehmerelemente als Dehnungsmeßstreifen (3) ausgebildet und in das Faserverbund-Bauteil (1) integriert sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß diese als Untersuchungs- oder Überwachungsvorrichtung ausgebildet ist, wobei in den Faserverbund-Bauteilen in vorgegebenen Abständen mindestens zwei oder eine Vielzahl von Dehnungsmeßstreifen (3) integriert sind, die mindestens an den schadensrelevanten Bauteilflächen materialspannungsbedingte Dehnungen erfassen und einer zentralen Auswertevorrichtung (4) als elektrische Signale zuführen.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Integration der Dehnungsmeßstreifen (3) durch Einlage der flachen Foliendehnungsmeßstreifen (3) zwischen verschiedenen Faserschichten (2) des Verbundfasermaterials erfolgt.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Integration der Dehnungsmeßstreifen (3) etwa in der

Mitte der Faserschichten (2) im Bereich der neutralen Faser des Faserverbundmaterials erfolgt.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, da-
durch gekennzeichnet, daß die Meßgitter (5) der Dehnungs-
meßstreifen (3) auf beiden Seiten mit isolierenden
Schichten (6, 7) eines Trägermaterials abgedeckt sind und
wobei die Anschlußpunkte des Meßgitters (5) mit senkrecht
zum Meßgitter (5) ausgerichteten Anschlußstiften (8)
10 elektrisch verbunden sind und isoliert aus einer der Fa-
serdeckschichten (2) des Faserverbund-Bauteils herausra-
gen.
- 15 6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, da-
durch gekennzeichnet, daß jeder Anschlußstift (8) ober-
halb des Faserverbundmaterials mit einem festen Kon-
taktstempel (21) verbunden ist, der auf der oberen Faser-
schicht (2) isolierend aufliegt und zu einer lösbarer
20 Verbindung mit der Auswertevorrichtung (4) dient.
- 25 7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, da-
durch gekennzeichnet, daß die Auswertevorrichtung (4) als
elektronische Rechenvorrichtung ausgebildet ist, die aus
den elektrischen Signalen der verschiedenen Dehnungsmeß-
streifen (3) ortszugehörige Dehnungswerte bildet, die der
örtlichen Bauteilbelastung proportional sind.
- 30 8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß
die Auswertevorrichtung (4) als Lastmonitoring-
vorrichtung ausgebildet ist, die aus den elektrischen Si-
gnalen der verschiedenen Dehnungsmeßstreifen (3) ortszu-
gehörige Dehnungswerte bildet, die der örtlichen Bauteil-
belastung proportional sind und von der Auswertvorrich-
tung (4) abgespeichert werden.

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswertevorrichtung (4) als Überwachungsvorrichtung ausgebildet ist, die die ortsabhängigen Dehnungswerte mit konstruktionsbedingten Belastungsgrenzwerten vergleicht und bei Überschreitung eines oder mehrerer Grenzwerte eine Schadensgefahr oder eine Schädigung anzeigt oder signalisiert.
10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswertevorrichtung (4) als Untersuchungsvorrichtung ausgebildet ist, die die aufgebrachten Bauteilbelastungen mit ortszugehörigen Dehnungswerten verknüpft und daraus eine Belastungs- oder Spannungsanalyse des untersuchten Faserverbund-Bauteils bildet.
11. Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine oder mehrere Faserschichten (2) in eine vor-gegebene Form (15) gelegt und mit einem polymeren Werkstoff versehen werden und anschließend darauf an vor-gesehenen Bauteilpunkten mehrere flache Foliendehnungs-meßstreifen (3) mit Meßgittern (5) und darauf senkrecht gerichteten Anschlußstiften (8) plaziert werden, die mit mindestens noch einer weiteren Schicht (2) abgedeckt wird, aus der die Anschlußstifte (8) oberhalb der Faser-deckschicht (2) herausragen und zu einem festen Faserverbund-Bauteil (1) mit integrierten Dehnungsmeßstreifen (3) verpreßt werden.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Faserverbund-Bauteil (1) mittels Vakuum- oder Druck-verfahren hergestellt wird, wobei oberhalb einer Abrißfo lie (16) ein Stempel (21) aus weichem porösem Material angeordnet wird, der die herausragenden Anschlußstifte

(8) aufnimmt und der nach dem Fertigungsvorgang wieder entfernt wird.

13. Aufnehmerelement zur Feststellung von Dehnungen an Faser-verbund-Bauteilen (1), das als Dehnungsmeßstreifen (3) ausgebildet ist und aus einem handelsüblichen Meßgitter (5) mit einer Trägerschicht (6) und einer oberen Abdeck-schicht (7) besteht, dadurch gekennzeichnet, daß als elektrische Verbindungspunkte senkrecht zum Meßgitter (5) angeordnete Anschlußstifte (8) vorgesehen sind, und daß die obere Abdeckschicht (7) des Foliendehnungsmeßstreifens (3) wie dessen Trägerschicht (6) ausgebildet ist.
14. Aufnehmerelement nach Anspruch 13, dadurch gekennzeich-net, daß zwischen den Endpunkten des Meßgitters (5) und den Anschlußstiften (8) eine Zugentlastung (10) aus dem Meßgitterwerkstoff vorgesehen ist, die bei großen Materi-aldehnungen im Faserverbundwerkstoff einen messwertver-fälschenden Widerstandseinfluß der Zuleitungen verhin-dert.
15. Aufnehmerelement nach Anspruch 13 oder 14, dadurch ge-kennzeichnet, daß die Außenflächen der Trägerschicht (6) und der Abdeckschicht (7) zur Aufrauhung gestrahlt sind, und dadurch der Verbesserung der Adhäsionskräfte zu den Faserschichten (2) dienen.
16. Aufnehmerelement nach einem der Ansprüche 13 bis 15, da-durch gekennzeichnet, daß die Dehnungsmeßstreifen (3) als längsorientierte Meßgitter (5) oder als Rosetten ausge-bildet sind.
17. Aufnehmerelement nach einem der Ansprüche 13 bis 16, da-durch gekennzeichnet, daß die Anschlußstifte (8) von ei-ner Isolierschicht (20) umgeben sind, die zur Ankopplung

an eine Auswertevorrichtung (4) leicht entfernbar ist und wobei die Anschlußstifte (8) eine Länge von 5 bis 50 mm aufweisen und ca. 0,5 bis 2 mm Durchmesser besitzen.

5 18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch
gekennzeichnet, daß die Auswertevorrichtung (4) mit einem
Prozessor (23) ausgestattet ist, der die elektrischen Si-
gnale der Dehnungsmeßstreifen (3) hinsichtlich unter-
schiedlicher Kriterien, wie Häufigkeitsverteilung, Pola-
rität und zeitliche Abfolge, auswertet.

10

15 19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10 und 18, da-
durch gekennzeichnet, daß die Auswertevorrichtung (4) aus
einem elektrisch abgeschirmten Gehäuse (24), einer elekt-
rischen Stromversorgung (25), einer Verstärkereinheit
(26), einem Prozessor (22), einem internen Timer (23) und
einer Datenspeichervorrichtung (27) besteht.

20 20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, sowie 18
und 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Kontaktstifte (8)
an jede Meßstelle zur Befestigung einer elektrischen Vor-
richtung zur Meßstellenidentifikation (28) genutzt werden
und der Auswertevorrichtung (4) vorgeschaltet sind.

Fig 1

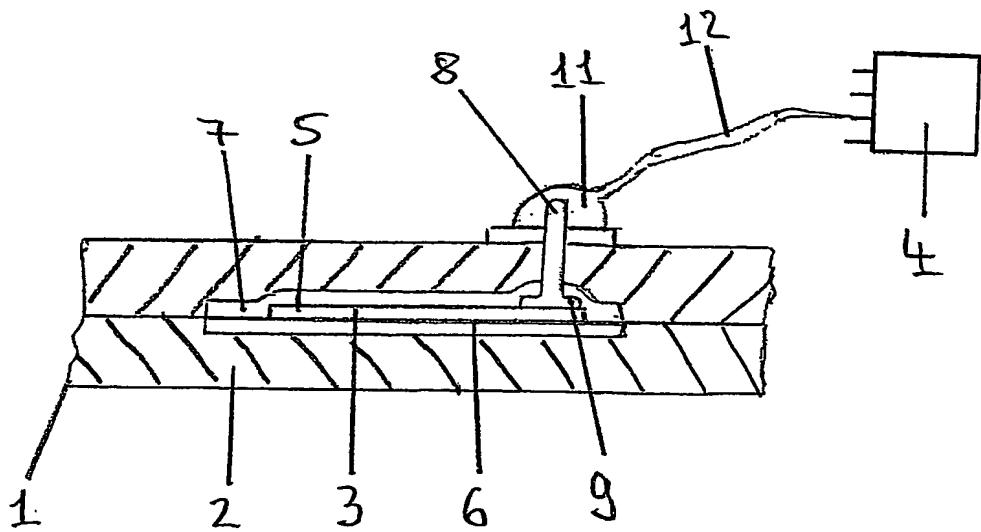


Fig 2

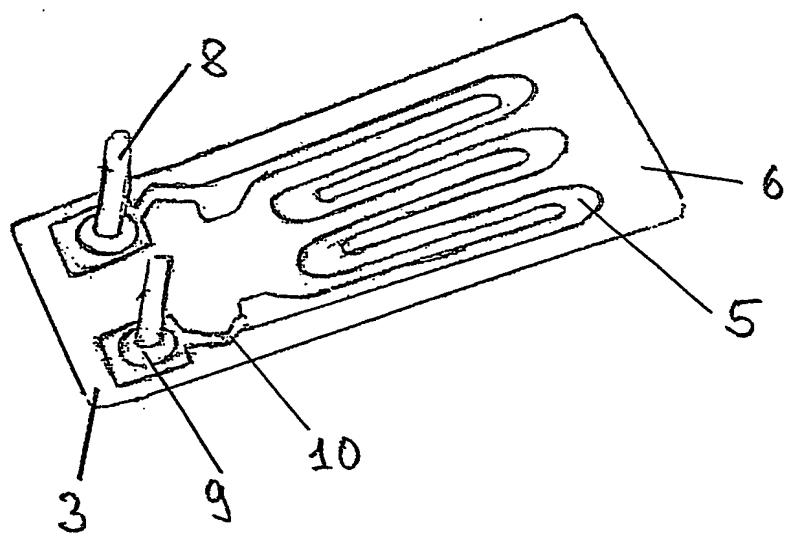


Fig 3

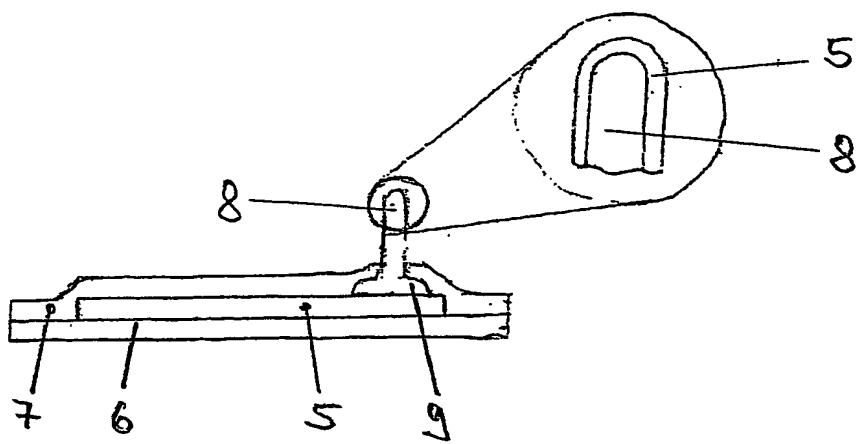


Fig 4

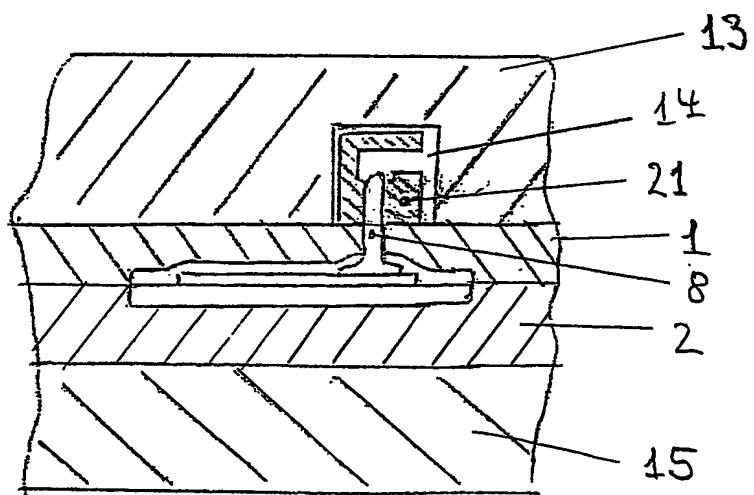
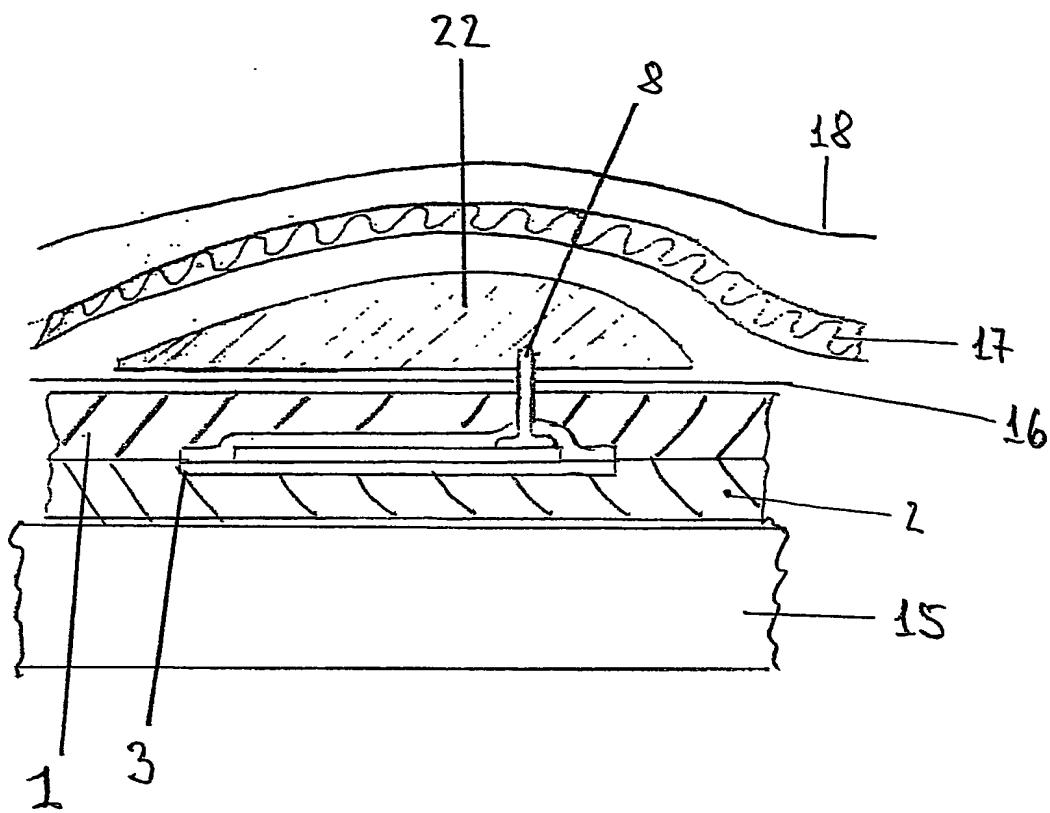


Fig 5



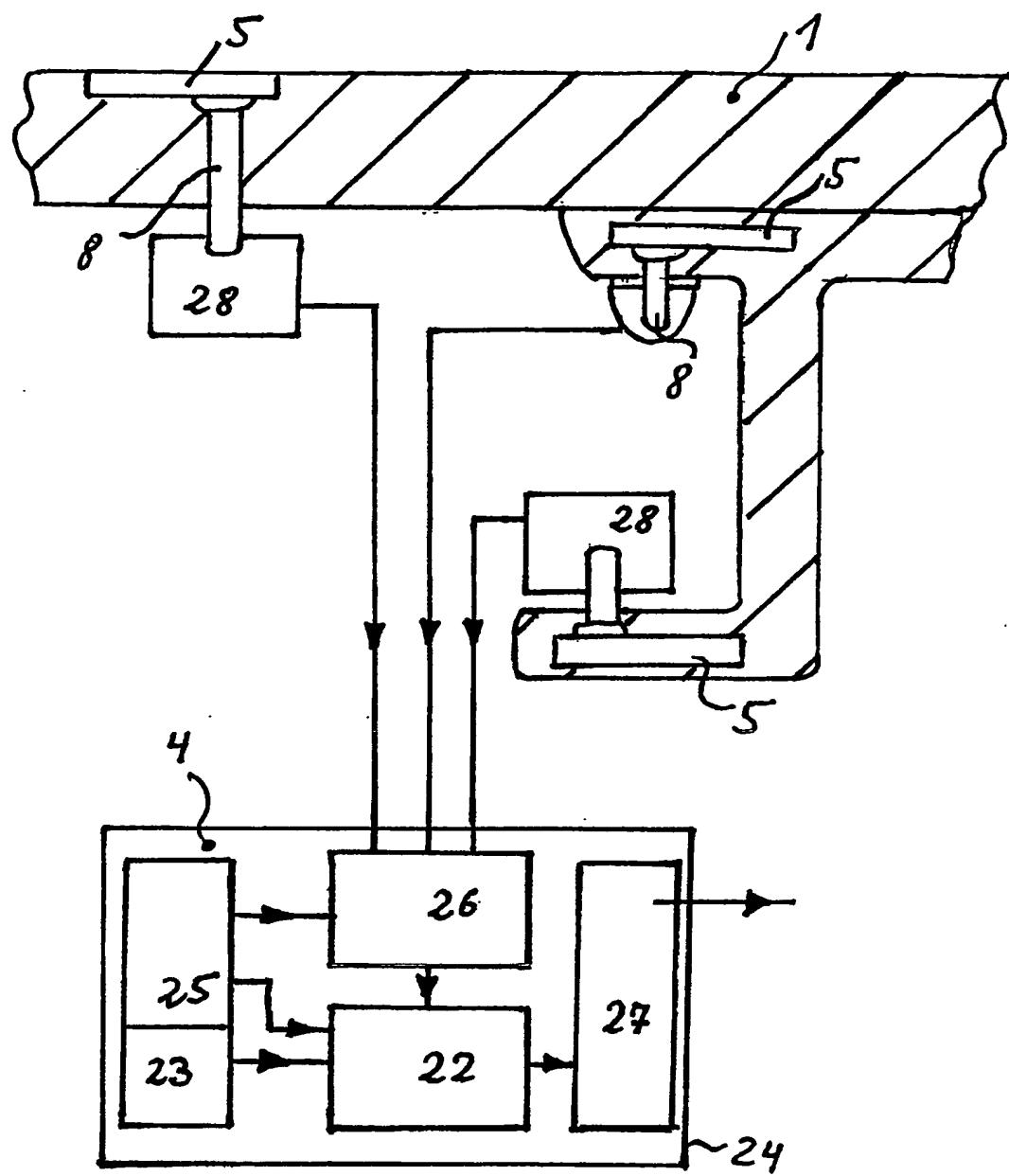


Fig. 6